

где  $G_A, G_B, G_C$  – передаточные функции, соответствующие путям прохождения электрического тока в электрической схеме замещения,  $X(p), Y(p)$  – Лапласово изображение входного и выходного сигнала.

В качестве примера для расчета передаточной функции взяты значения электрических параметров схемы замещения вестибулярного лабиринта для морской свинки.

Передаточная функция (1) зависит от параметров электрической цепи. Вариация этих параметров позволяет оптимизировать передаточную функцию, соответствующую максимальному значению амплитуды выходного сигнала. Численный анализ трех слагаемых  $G_A, G_B, G_C$  в передаточной функции в формуле (1) от параметров электрической цепи показал, что увеличение передаточной функции при любых значениях других электрических параметров происходит при увеличении  $R_1, R_2, C_1, C_2$  и уменьшении параметров  $R_{31}, R_{32}, R_{41}, R_{42}$ . Величина передаточной функции слабо зависит от  $C_3$  и  $C_4$ .

Проведенные расчеты показали, что при оптимальных электрических параметрах электрической схемы замещения вестибулярного лабиринта значение передаточной функции (1) увеличивается в 1.5 раза.

Список публикаций:

[1] Воропаева О.Ф., Шокин Ю.И. // *Вычислительные технологии*. 2012. Т. 17. №4. С.29–55.

[2] Марчук Г.И. // *Медицина высокие технологии*. 2012. №2. С. 3-6.

[3] Антоненко С. В., Белянская Е. С., Индюхин., Лебедев И. С. // *Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание*. 2013. №1.

[4] Демкин В.П., Мельничук С.В., Щетинин П.П., Кингма Г., Ван Де Берг Р. // *Известия высших учебных заведений. Физика*. 2018. Т.61. № 11. С.68 -75.

Результаты исследования получены при поддержке Программы повышения конкурентоспособности ТГУ.

## **АСМ- и СТМ-исследования синтетических одноцепочечных ДНК с гомонуклеотидной последовательностью, осажденных на подложке из серебра**

**Амангулова Илюза Тагировна**

*Бакирский государственный университет*

*Шарипов Талгат Ишмухамедович, к.ф.-м.н.*

*amangulovai@mail.ru*

Появление сканирующего зондового микроскопа открыло новые возможности для исследования объектов в самых разных областях науки. Атомно-силовая (АСМ) и сканирующая туннельная микроскопии (СТМ) [1] благодаря сверхвысокому разрешению позволяют исследовать различные объекты на молекулярном и субмолекулярном уровне, в том числе молекулы ДНК различной природы [2-3]. Особый интерес представляют синтетические одноцепочечные ДНК с гомонуклеотидной последовательностью, то есть состоящие из нуклеотидов одного типа [4]. В таких структурах предполагается особый характер распределения электронной плотности и переноса заряда, поэтому интерес к ним стабильно высок, что связано с перспективами использования данных молекул в нанoeлектронике.

В данной работе методами АСМ и СТМ были визуализированы и исследована проводимость коротких одноцепочечных ДНК, состоящих из нуклеотидов  $d(C)_{12}$ .

В экспериментах в качестве подложек применяли серебро, термически напыленное в вакууме на поверхность слюды. На серебряную подложку наносили раствор олигонуклеотида  $d(C)_{12}$  в концентрации 5 нг/мкл. Причем раствор олигонуклеотида предварительно прогревали при температуре 75-80 °С в течение 6-7 минут для деглобулизации. Через 30-40 мин капля высыхала полностью.

В докладе будут представлены результаты исследования проводимости олигонуклеотидов, состоящих из повторяющихся нуклеотидных последовательностей. Все этапы эксперимента контролировались методами СТМ (рис. 1) и АСМ. Поскольку наибольший интерес представляли наименьшие из наблюдаемых на изображении объектов, которые по нашему мнению являются единичными молекулами, для них получали профили сечения (рис. 1б), по которым определяли геометрические параметры. После получения СТМ-изображений и визуализации олигонуклеотидов на поверхности подложки в режиме сканирующей туннельной спектроскопии измеряли их вольт-амперные характеристики (ВАХ) на тех участках, где предположительно находились единичные молекулы олигонуклеотидов. Для этого молекулу располагают между двумя электрическими контактами, одним из которых является проводящий зонд микроскопа, а другим – фрагмент поверхности подложки из электропроводящего материала.

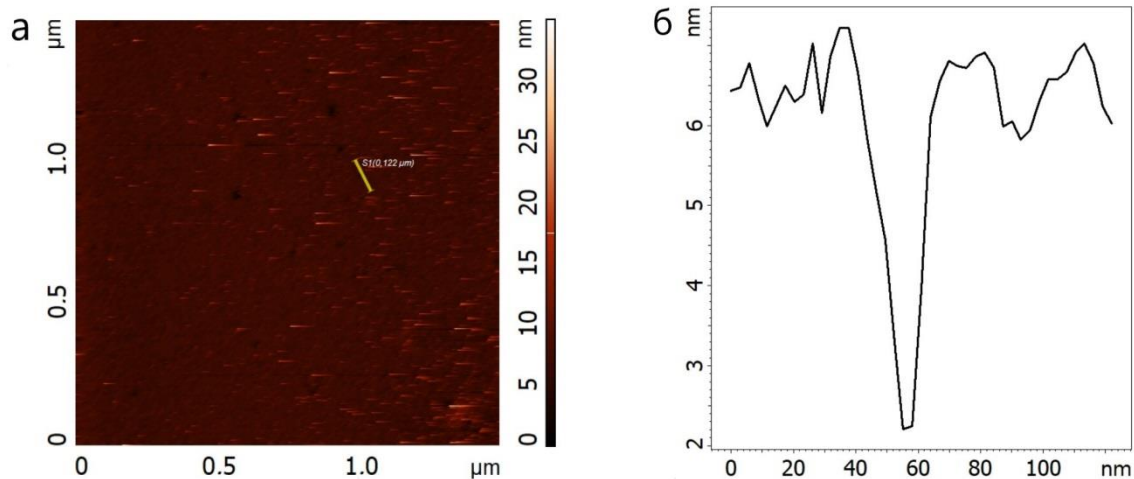


рис. 1. а) СТМ-изображение поверхности серебра с нанесенными на нее олигонуклеотидами  $d(C)_{12}$ .  
б) профиль сечения олигонуклеотида  $d(C)_{12}$ , выполненный по линии, указанной на рисунке 1а.

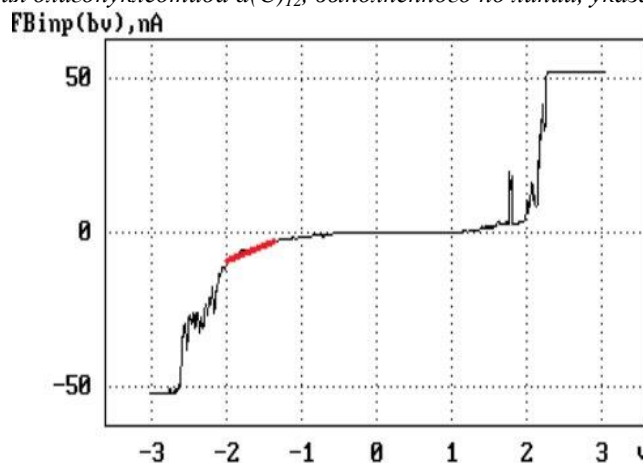


рис. 2. Вольт-амперная характеристика олигонуклеотида  $d(C)_{12}$ .

Вид кривой зависимости тока от напряжения оказался нелинейным. Используя ВАХ, можно вычислить дифференциальное сопротивление олигонуклеотидов  $d(C)_{12}$ . Для этого на ВАХ мы выбрали участок, на котором нет нулевых значений тока и в то же время нет значительных флуктуаций тока. На рисунке 2 он выделен утолщенной красной линией. Оценочно рассчитали, что дифференциальное электрическое сопротивление отдельной молекулы примерно равно  $R_{\text{диф}} = 0.85 \cdot 10^8 \text{ Ом}$ .

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Республики Башкортостан для молодых ученых на 2019 год, договор № 29- ГР.

Список публикаций:

- [1] Быков В.А., Лазарев М.И., Саунин С.А. // Электроника: наука, технология, бизнес. – 2008. – № 5. – сс. 7 – 14.
- [2] Амангулова И.Т., Шарипов Т.И., Муллағалиев И.Н. // Проблемы современного физического образования: сборник материалов V Всероссийской научно- методической конференции / отв. ред. Балапанов. М. Х. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2019. – с. 87-89.
- [3] Шарипов Т. И., Бахтизин Р. З. // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико- математические науки. 2019. № 1 (49). С. 133-141.
- [4] Sharipov T. I., Garafutdinov R. R., Amangulova I.T., Bakhtizin R.Z. // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2019. V. 699. №1. 012045.